

О- 794446

На правах рукописи



ОВЧАРОВ АЛЕКСЕЙ ПЕТРОВИЧ

**НАПРАВЛЕННЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН  
ДЛЯ СШП СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ**

Специальность 05.12. 07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук**

Казань 2012

Работа выполнена на кафедре Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Научный руководитель:

Доктор техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РТ Седельников Юрий Евгеньевич

Официальные оппоненты:

Класен Виктор Иванович, доктор техн. наук, профессор, генеральный директор ЗАО РК «Вектор», заведующий кафедрой Компьютерных и телекоммуникационных систем Чистопольского филиала КНИТУ-КАИ

Барышников Леонид Полевич, кандидат техн. наук, нач. сектора ОАО «Научно-производственное объединение «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко»

Ведущая организация ОАО «Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь» («Корпорация «Тактическое вооружение»)

Защита состоится 20 апреля 2012 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.079.04 в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А. Н. Туполева-КАИ по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.31/7, ауд 504.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных печатью организации, высылать по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, КНИТУ-КАИ на имя ученого секретаря диссертационного совета Д 212.079.04 Седов С. С.

Автореферат разослан «17» марта 2012 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ



0000806653

Седов С. С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В последние годы перспективным направлением совершенствования радиолокационных систем (РЛС) является расширение спектра сигналов, вплоть до перехода к сверхширокополосным (СШП) сигналам, а также использование пространственно-многоканальных антенных систем - антенных решеток (АР). Во многом это связано с тем, что такой подход обеспечивает целый ряд преимуществ по сравнению с традиционными средствами, в частности – повышение разрешающей способности по дальности и угловым координатам. Прогнозируемые достоинства СШП РЛС вызвали повышенный интерес российских и зарубежных специалистов, что привело к дальнейшему развитию и внедрению СШП техники в ряд смежных с радиолокацией областей, таких как связь, зондирование сред, медицина, системы неразрушающего контроля и т.п. К числу перспективных приложений относятся средства ближней радиолокации, такие как поисковые и охранные системы, радиолокационные устройства в составе беспилотных мишенных комплексов и некоторые другие.

Существует два основных направления построения подобных систем. Первый из них реализуется в РЛС с несущей частотой, соответствующей сантиметровому или миллиметровому диапазону волн. В таком случае ширина относительной полосы частот не превышает значения 5...10 процентов. Аппаратурные решения при этом, по существу, остаются традиционными.

Другое направление заключается в использовании принципа «ударного возбуждения антенны» видеоимпульсами наносекундной и субнаносекундной длительности. Реализация этого принципа позволяет значительно упростить построение аппаратуры, что может иметь решающее значение для радиотехнических применений. В то же время существенно возрастает роль антенн, выполняющих одну из ключевых функций в системах данного типа. Следует также подчеркнуть, что если для узкополосных радиосредств направленность антенн в большинстве случаев достаточно полно характеризуется коэффициентом усиления  $KУ(\theta, \varphi)$  на средней частоте полосы радиосигнала, а угловая зависимость мощности принимаемого сигнала на выходе линейного приемника практически не зависит от структуры сигнала и алгоритма его обработки, то для сверхширокополосных радиосредств характерно наличие выраженной частотной зависимости коэффициента усиления антенны  $KУ(\omega, \theta, \varphi)$  в пределах полосы частот радиосигнала. В результате, использование таких традиционных показателей как коэффициент усиления и ДН антенны в традиционном понимании становится невозможным.

Для ряда средств ближней радиолокации весьма остро стоит вопрос об энергетической эффективности. В основном, это связано с двумя обстоятельствами: нормативными ограничениями в части использования радиочастотного ресурса суммарной мощности излучения и эффектами, возникающими при расположении антенн на объектах сложной геометрической формы. В частно-

сти имеют место провалы, вынуждающие увеличивать мощность радиопередатчика, исходя из худшего случая, соответствующего наименьшему значению коэффициента усиления антенны в требуемом секторе углов.

Таким образом, при создании новых комплексов или модернизации существующих актуальной является задача совершенствования аппаратуры ближней радиолокации. Один из эффективных способов улучшения показателей состоит в оптимизации параметров антенн СШП радиосредств.

**Цель и задачи исследования.** Диссертационная работа посвящена исследованию энергетических и направленных свойств антенн СШП радиосредств ближней радиолокации. Целью работы является повышение технических показателей радиолокаторов ближней радиолокации использующих в качестве возбуждающих сигналов видеопульсы наносекундной длительности.

Задача, решаемая в диссертации, заключается в исследовании характеристик направленности антенн СШП радиолокаторов ближней радиолокации, реализующих принцип «ударного возбуждения антенны» и выработке на этой основе предложений по их построению.

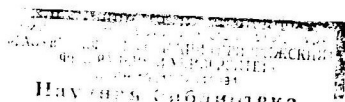
Для решения поставленной задачи необходимо решить следующий ряд более частных задач:

1. Разработка и анализ модели антенного тракта СШП РЛС ударного возбуждения с пассивным ответом, учитывающей специфику использования в ряде приложений;
2. Выработка показателей, адекватно отражающей функции антенн в составе СШП средств ближней радиолокации;
3. Исследование направленных и энергетических свойств ряда типовых антенн, используемых в составе СШП РЛС;
4. Разработка модели антенной решетки в составе СШП РЛС и путей оптимизации ее показателей;
5. Выработка практических рекомендаций по построению антенных устройств, в том числе в составе аппаратуры беспилотных мишенных комплексов.

**Объект исследования.** Антенны СШП радиосредств ближней радиолокации, использующих метод ударного возбуждения излучающей антенны.

**Предмет исследования.** Направленные и энергетические характеристики антенн СШП радиосредств.

**Методы исследования.** Для достижения поставленных целей в работе использованы методы имитационного моделирования, математические методы оптимизации, численные математические методы прикладной электродинамики. Результаты получены с использованием вычислительных алгоритмов реализованных в пакете *MathCad*. При проведении расчетов параметров антенн применены пакеты прикладных программ электродинамического моделирования *CST Microwave Studio 2010*, *Ansoft HFSS v.13* и *FEKO v.5.1*.





**Научная новизна работы и личный вклад автора.** Новизна полученных научных результатов заключается в следующем:

1. На основе использованной модели тракта СШП радиосредств представлен обобщающий критерий, отражающий направленные и энергетические свойства антенн;

2. На основе введенного показателя исследованы направленные и энергетические характеристики ряда типовых антенн средств ближней радиолокации;

3. Предложена модель антенной решетки в составе средств ближней радиолокации. Выработаны практические пути для оптимизации их направленных и энергетических показателей, в частности расширения угла обзора;

4. Выработаны практические рекомендации по построению антенн для средств ближней радиолокации и варианты их практической реализации для беспилотных мишенных комплексов.

Личный вклад автора состоит в разработке подхода к расчету энергетических и направленных характеристик СШП радиолокаторов ближнего радиуса действия, разработке алгоритмов и специальных математических инструментов, анализе результатов. Также автором предложен вариант аппаратной реализации СШП радиолокатора ближнего радиуса действия. Основные научные положения и результаты, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, получены и сформулированы автором впервые. Наличие соавторов отражено в списке литературы, который включает перечень публикаций соискателя.

**Практическая ценность и реализация результатов диссертации.** Полученные в ходе исследования результаты и выработанные на их основе рекомендации позволяют улучшить функциональные показатели средств ближней радиолокации, использующих в качестве возбуждающих сигналов видеоимпульсы наносекундной длительности, в частности устройств определения промаха в составе беспилотных мишенных комплексов.

Ряд результатов в виде конкретных расчетных данных, рекомендаций и технических предложений использованы в ОАО «ОКБ Сокол» и ООО КБ «Навигационные Технологии», а также в учебном процессе Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева.

**Достоверность и обоснованность результатов.** Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов обеспечиваются корректным применением методов электродинамического расчета поля излучения антенных систем, обоснованностью упрощающих допущений, результатами математического и имитационного моделирования, а также совпадением результатов с известными данными.

**Апробация и внедрение.** Материалы диссертации прошли апробацию на следующих научно-технических конференциях и семинарах: VI Международная НТК «Физика и технические приложения волновых процессов» (Казань, 2007); IX Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ (Казань, 2008); IX Между-

народная НТК «Физика и технические приложения волновых процессов» (Миасс, 2010); Международная НТК «Радиолокация, навигация, связь» (Воронеж, 2011г); НТК «XV Туполевские чтения», (Казань, 2010г); XII Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ (Казань, 2011г).

**Научные публикации.** Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 10 печатных работах, в том числе 3 работы в статьях научных журналов (из них – 2 работы в рецензируемых изданиях).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего в себя 114 наименование отечественных и зарубежных источников, в том числе 10 работ автора, и содержит 168 страниц машинописного текста, 72 рисунка, 8 таблиц и 2 приложения.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Методика определения направленных свойств СШП средств ближней радиолокации, использующих метод ударного возбуждения, а также критерии для оценки показателей их качества;
2. Количественные характеристики энергетической эффективности используемых для СШП радиолокаторов антенн;
3. Модель антенной решетки в составе СШП средств ближней радиолокации и метод оптимизации ее энергетических и направленных свойств;
4. Использование малозлементных некогерентных антенных решеток в качестве антенн АОП для создания квазиизотропной ДН и вариант практической реализации.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены цели и задачи исследования, его предмет и объект, методическая и информационная база, научная новизна и практическая значимость, перечислены основные положения, выносимые на защиту. Дан краткий обзор современного состояния как научной, так и технической составляющей вопроса, приведена структура диссертации, форма апробации и внедрения ее результатов.

**В первой главе** диссертации дан краткий обзор истории создания СШП радиосредств и основных тенденций современного развития, как в России, так и за рубежом. Рассмотрены основные преимущества СШП радиосредств перед аналогичными узкополосными системами, приводятся варианты классификации СШП систем и методы получения СШП сигнала с указанием основных преимуществ и недостатков каждого из указанных методов (рис. 1).



Рис. 1. Методы формирования СШП сигнала

Описаны особенности излучения, распространения и отражения СШП сигналов, а также варианты теоретических моделей для их описания.

Рассмотрены примеры реализации систем СШП РЛС, использующих для возбуждения антенны сигналы в виде видеоимпульсов наносекундной длительности, такие как радиолокационный измеритель толщины морского льда (РИТЛ) "Аквamarin" (производство ОАО «УПКБ «Деталь»), георадары серии «Лоза» (производство ООО «Компания ВНИИСМИ»), *MIR*-локаторы датчиков систем охранной аппаратуры и аппаратуры определения промаха (АОП) в составе беспилотных мишенных комплексов.

Подчеркнута ключевая роль антенн для создания радиолокационных устройств с видеоимпульсным возбуждением. Особенно интересным оказывается вопрос о получении антенн с широкой полосой пропускания и слабонаправленной или квазизотропной (в случае системы излучателей) ДН. Анализируется текущее состояние теоретической проработки вопроса, касающегося описания направленных и энергетических характеристик СШП радиосредств, рассмотрены основные существующие методы повышения эффективности работы устройств. Показано, что вопросы, касающиеся направленных и энергетических характеристик СШП радиосредств, остаются до сих пор недостаточно проработанными и требуют более тщательного анализа.

На основе проведенного анализа делается вывод об актуальности диссертационной работы, определяются ее основные цели и задачи, а также возможные варианты и методы для их решения.

Вторая глава посвящена исследованию основных параметров, влияющих на энергетические и направленные свойства антенн в составе СШП РЛС на основе созданной модели тракта устройства, учитывающей специфику СШП сигналов. В основу построения модели положено рассмотрение в частотной области.

Базовой для исследования является модель односторонней радиосвязи двух корреспондентов (Рис.2), при которой радиопередача осуществляется с использованием передающей и приемной антенн с коэффициентами усиления  $KY_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)$  и  $KY_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)$  соответственно, где  $\theta_T, \varphi_T$  и  $\theta_R, \varphi_R$  - соответствуют определенной пространственной ориентации антенн и линейной обработке сигнала фильтром с комплексным коэффициентом передачи  $K(\omega)$ .

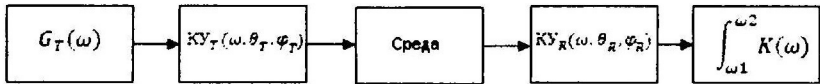


Рис. 2. Структурная схема радиолинии связи

Варианты весовой обработки могут быть различными: постоянная  $K(\omega)$  в полосе частот сигнала соответствует непосредственному приему с частотно-независимой обработкой, в соответствии с принципом согласованной фильтрации  $K(\omega)$  выбирается как величина комплексно сопряженная спектру сигнала на выходе радиопередатчика  $G_T(\omega)$  с учетом частотной зависимости  $\frac{1}{\omega}$ :

$$K(\omega) = \frac{(\omega_2 - \omega_1) \frac{G_T(\omega)}{\omega}}{\sqrt{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \left| \frac{G_T(\omega)}{\omega} \right|^2 d\omega}} \quad (1)$$

Величина коэффициента усиления антенны в режиме приема при односторонней радиосвязи двух корреспондентов представляется следующим выражением:

$$KY_{\text{сшп}}(\theta_R, \varphi_R) = \frac{\left| \int_{\omega_1}^{\omega_2} \sqrt{KY_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)} \sqrt{KY_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)} e^{j\psi_T(\omega, \theta_T, \varphi_T) + j\psi_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)} \left| \frac{\omega_1}{\omega} G_T(\omega) \right|^2 d\omega \right|^2}{\left| \int_{\omega_1}^{\omega_2} \sqrt{KY_0(\omega, \theta_R, \varphi_R)} e^{j\psi_0(\omega, \theta_R, \varphi_R)} \left| \frac{\omega_1}{\omega} G_T(\omega) \right|^2 d\omega \right|^2} \quad (2)$$

где:

$G_T(\omega)$  – спектр сигнала возбуждения антенны;

$KY_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)$  и  $KY_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)$  - частотные зависимости амплитудных ДН передающей и приемной антенн соответственно;

$\psi_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)$  и  $\psi_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)$  - частотные зависимости фазовых ДН передающей и приемной антенн соответственно;

$\sqrt{KY_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)}e^{j\psi_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)}$  и  $\sqrt{KY_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)}e^{j\psi_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)}$  - значения напряженности электрического поля, создаваемые при заданных расстояниях и ориентации соответствующими антеннами при единичном возбуждении.

Для модели тракта РЛС (рис.3) соотношение (2) с учетом отражения сигнала от объекта лоцирования и использования при приеме и передачи антенн с идентичными свойствами имеет вид:

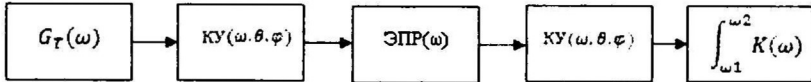


Рис. 3. Структурная схема тракта однопозиционной РЛС с пассивным ответом

$$KY_{\text{сип}}(\theta_R, \varphi_R) = \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \sqrt{KY_T(\omega, \theta_T, \varphi_T)} \cdot \sqrt{KY_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)} e^{j\psi_T(\omega, \theta_T, \varphi_T) + j\psi_R(\omega, \theta_R, \varphi_R)} \left| \frac{\omega_1}{\omega} G_T(\omega) \right|^2 d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \sqrt{KY_0(\omega, \theta_R, \varphi_R)} e^{j\psi_T(\omega, \theta, \varphi)} \left| \frac{\omega_1}{\omega} G_T(\omega) \right|^2 d\omega} \quad (3)$$

Данная модель соответствует допущению независимости  $\text{ЭПР}_{\text{цел}}(\omega)$  от ракурса облучения. Введение этого допущения оправдано тем, что для ряда приложений наибольший практический интерес представляет обнаружение малоразмерных объектов, которые можно рассматривать как квазиточечные.

Количественный анализ с использованием моделей тракта и введенного показателя позволяет выявить жесткую зависимость направленных и энергетических свойств системы от всех ее параметров: объекта лоцирования, длительности возбуждающего импульса, типа антенны, способа обработки приемного сигнала.

На рисунке 4 приведены расчетные значения коэффициентов усиления для случая весовой обработки (1) и рассматриваемой полосы анализа частот 50-1250МГц. Как показывает анализ, направленные характеристики, полученные описанным выше методом отличаются от традиционных, совпадая с ними в своем крайнем случае, соответствующему монохроматическому сигналу.

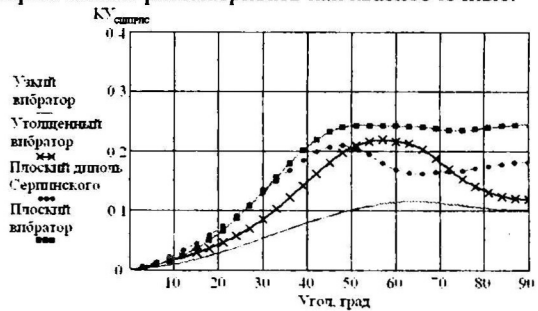


Рис. 4.  $KY_{\text{сип}}$  для ряда антенн

Введенный показатель (3) позволяет количественно охарактеризовать энергетические и направленные свойства антенн в составе СШП средств ближней радиолокации с учетом отражающих свойств целей, типа и параметров антенн, спектрального состава возбуждающего сигнала и способа и параметров весовой обработки в приемном тракте. Указанный показатель является обобщением величины коэффициента усиления для антенны сверхширокополосного радиосредства и полностью совпадает традиционным его представлением при стремлении полосы частот  $(\omega_1 - \omega_2)$  к нулю.

Во второй главе обсуждаются достоинства и недостатки представления направленных свойств антенн в частотной области, в частности не описывающего ряд важных эффектов во временной области, которые могут возникнуть в результате частотной оптимизации работы устройства на базе описанной модели тракта, таких как «размывание» импульса во временной области или появление локальных выбросов, снижающих возможность детектирования сигналов на фоне помех.

Данный факт достаточно сложно выявить. В частности это связано со значительными вычислительными сложностями и особенностями СШП сигналов, не позволяющих провести достаточно точное обратное преобразование, перейдя от «оптимизированной» частотной характеристики к временной.

Учитывая такую возможность, в работе показано, что максимизация значения  $\left| \int_{-\infty}^{\infty} G_1(\omega) K(\omega) d\omega \right|^2$ , сопровождается возрастанием амплитуды времен-

ного отклика в нулевой момент времени. Это не гарантирует отсутствия локальных всплесков во времени, но в целом максимизация КУ по критериям частотной области не противоречит улучшению ее характеристик во временной области. Поэтому при попытке улучшения частотных свойств не должно происходить ее ухудшений во временной области.

**Третья глава** посвящена количественному анализу, классификации и обработке результатов, отражающих зависимость направленных и энергетических свойств от различных параметров системы. Особенное внимание при этом уделено используемым антеннам и выявлению основных требований к ним, проведен анализ наиболее часто используемых СШП антенн и их возможного использования в составе СШП радиолокаторов ближнего радиуса действия. Для выявления особенностей работы был проведен ряд моделирований, по описанной модели с использованием набора антенн (узкий вибратор, утолщенный вибратор, плоская антенна, плоская антенна Серпинского).

Рассмотрены возможности получения исходных данных для рассматриваемых антенн, а также частотных характеристик ЭПР типовых целей с использованием современных методов и инструментов вычислительной электродинамики.

**Зависимость формы ДН.** Анализ показал, что характеристики, рассчитанные по традиционной методике, значительно отличаются от тех, что

были получены по математической модели (3), совпадая только в случае анализа не в полосе частот, а на выбранной одиночной частоте. На рисунке 5 (а) приведены нормированные ДН на одиночной резонансной частоте антенны. На рисунке 5 (б) представлены нормированные ДН для СШП варианта, рассчитанные по формуле (3). Данный рисунок наглядно демонстрирует различие в ширине и форме основного лепестка ДН при переходе от узкополосной работы системы к широкополосной. Для большей наглядности рассчитанная ширина основного лепестка ДН для каждой антенны сведена в таблицу 1.

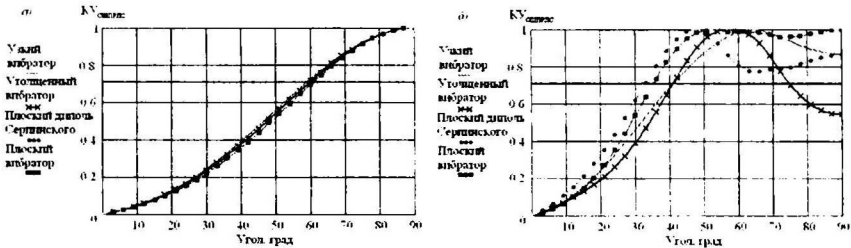


Рис. 5. Нормированные ДН антенн.

а - узкополосный вариант; б - расчетные данные по  $KU_{\text{сшп}}$

Таблица 1

Ширина основного лепестка ДН анализируемых антенн

Название антенны	Величина ширины основного лепестка ДН, град	
	Узкополосный вариант	Широкополосный вариант
Узкий вибратор	62	98
Утолщенный вибратор	60	2 лепестка по 37
Плоский вибратор	58	110
Антенна Серпинского	58	114

При анализе результатов был сделан вывод о том, что среди исследованных антенн в СШП варианте не наблюдается заметного различия в ширине основного лепестка. С другой стороны, как и ожидалось, более широкополосные антенны предпочтительнее в плане повышения КУ и, соответственно, эффективности работы системы в целом.

**Влияние длительности возбуждающего импульса.** Для данного анализа были использованы возбуждающие импульсы длительностью 0,1нс, 1нс и 5нс для всех описанных ранее антенн. Графики для каждого типа антенн представлены на рисунке 6. По рисункам видно, что ДН значительно зависит от длительности импульса возбуждения. При рассмотрении формулы данный факт становится очевиден. При малой длительности импульса основная часть его энергии сосредотачивается в рассматриваемой полосе частот и не происходит искажение частотных составляющих. При увеличении длительности

происходит смещение энергии импульса в более низкочастотную часть спектра, что приводит к снижению вклада высокочастотных составляющих.

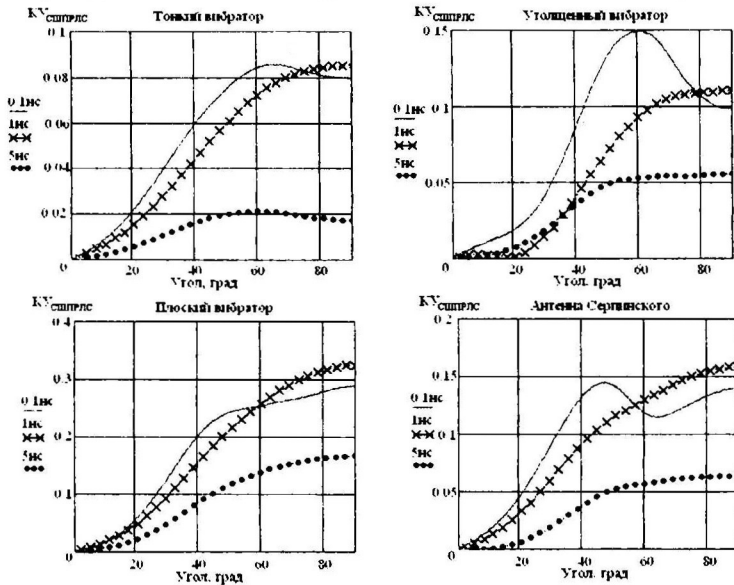


Рис. 6.  $KU_{\text{спилс}}$  различных антенн при различных возбуждающих импульсах

Как было показано выше, при анализе антенн в широком диапазоне частот, происходит расширение ДН антенны. Несомненно, в данном случае основное влияние оказывают частотные характеристики антенны и спектральный состав возбуждающего сигнала. На рисунке 7 приведена зависимость ширины ДН при использовании возбуждающего импульса различной длительности.

В данном случае стоит отметить, что для других антенн характер изменения ширины основного лепестка ДН может

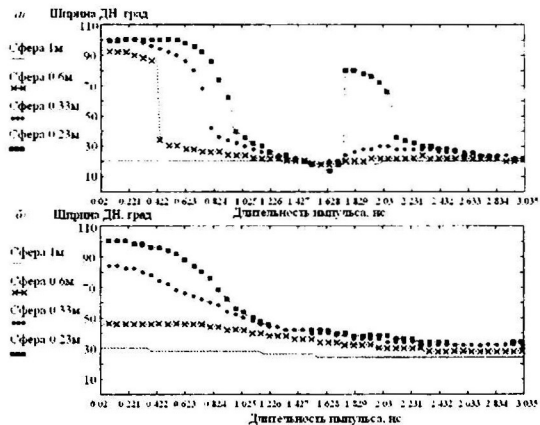


Рис. 7. Зависимость ширины ДН для антенны от длительности возбуждающего импульса  
а - утолщенный вибратор; б - «плоский вибратор»

других антенн характер изменения ширины основного лепестка ДН может



существенно отличаться. Это связано в частности с тем, что при определенных параметрах возбуждающего импульса происходит появление провалов в ДН. Тем самым, появляется потенциальная возможность управления шириной луча ДН, подбирая требуемые параметры сигнала возбуждения антенны.

**Оценка влияния типа объекта лоцирования.** Был проведен анализ зависимости энергетических характеристик от объекта лоцирования. Для этого было проведено моделирование при котором, в качестве облучаемых объектов были использованы идеально проводящие сферы размером от 0,176-1,6м. Соответствующие графики для антенн приведены на рисунке 8.

Тем самым, было показано наличие оптимальных параметров для объектов облучения. Но следует отметить, что график построен с учетом относительного  $KU_{\text{сшплс}}$ . В результате этого и возникает, казалось бы, неверный вывод, что чем меньше объект, тем проще его обнаружить. В данном случае оптимальность работы системы в целом характеризуется по сравнению с аналогичной работой идеальной частотно-независимой системой, которая реализуема лишь теоретически.

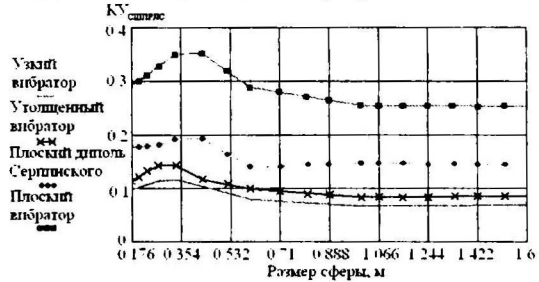


Рис. 8.  $KU_{\text{сшплс}}$  различных антенн при лоцировании различных объектов

В четвертой главе рассматриваются вопросы построения антенных решеток для СШП средств ближней радиолокации.

Рассматривается модель антенной решетки, состоящей из набора излучателей фиксированной геометрии с парциальными ДН  $\{e(\omega, \theta, \varphi)\}$ , матрицей

рассеяния системы входов  $[S_A(\omega)]$  и распределительного устройства с матрицей рассеяния  $[S(\omega)]$ . Согласно (3) характеристика направленности решетки представляется в виде:

$$KU_{\text{СШП}}(\theta, \varphi) = C_1 \left| \int_{\omega_1}^{\omega_2} \langle e(\omega, \theta, \varphi) \rangle U_{\text{nad}}(\omega, \theta, \varphi) C_2(\omega) d\omega \right|^2 \quad (4)$$

где  $C_1$  и  $C_2(\omega)$  зависят только от спектра сигнала и свойств цели.

$\langle U_{\text{nad}}(\omega, \theta, \varphi) \rangle$  определяется по известным  $[S_A(\omega)]$  и параметрам делителя  $[S(\omega)]$ .

Задача построения (синтеза) антенной решетки в данном случае заключается в обеспечении условий возбуждения, обеспечивающего наилучшее, или, как минимум, приемлемое значение некоторого показателя качества  $Q(KY_{\text{СШПРЛС}}(\theta, \varphi))$ . В качестве последнего могут выступать необходимое значение КУ в заданном направлении, показатель равномерности ДН в заданном секторе углов и т.д.

Показано, что в отличие от традиционных подходов к синтезу антенной решетки, для рассматриваемых случаев задача не может быть разделена на «внешнюю» и «внутреннюю». Под внешней задачей традиционно понимают определение параметров возбуждения элементов решетки согласно некоторому критерию  $Q(|U_n|)$ , внутренняя сводится к нахождению структуры и параметров делителя.

Для решения практических задач построения решеток в работе используется подход «конструктивного синтеза антенн». Для рассматриваемых приложений задача построения решетки рассматривается в следующей постановке: задано число, тип и расположение излучателей, а также структура распределительного устройства, характеризуемая заданным числом варьируемых параметров  $|X|$ . Требуется определить значения этих параметров, обеспечивающих наилучшее, или как минимум, приемлемое значение требуемого критерия качества характеристики направленности:

$$Q(KY_{\text{СШП}}(\theta, \varphi, |X|)) \longrightarrow \max_{|X|} \quad (5)$$

Решение указанной задачи может быть получено без принципиальных затруднений с использованием методов нахождения экстремума функции нескольких переменных  $|X|$ .

На данной основе в работе рассматривается два типа задач: связанных с повышением направленности решетки по сравнению с отдельным элементом и обеспечением квазиизотропных свойств в заданном секторе углов. Показано, что при использовании синфазной линейной антенной решетки с постоянной временной задержкой в тракте делителя обеспечиваются результирующие ДН СШП системы повышенной направленности. Форма ДН при этом получается отличной от значения, соответствующего решетке на средней частоте полосы (рис. 9).

Для формирования квазиизотропных ДН предложено использовать распределительное устройство с соединительными линиями с заметно различающимися временными задержками. В этом случае фазовое распределение решетки будет изменяться при смене частоты, что приведет к изменению с частотой положений интерференционных провалов и повышению результирующей изотропности (рис.10). Проведение оценки для случаев расположения элементов решетки на моделях простейших объектов показали, что при оптимизации возбуждения путем выбора длин соединительных кабелей, может быть достигнута хорошая степень изотропности при малом числе элементов решетки.

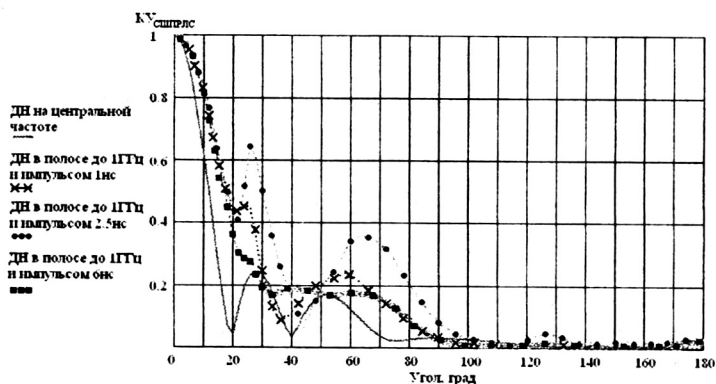


Рис. 9. Зависимость нормированного  $K_{дсп}$  для пятиэлементной антенной решетки

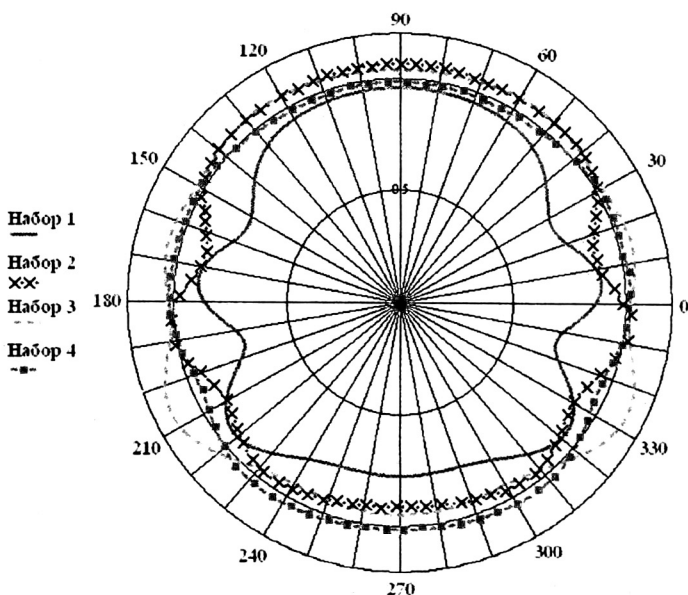


Рис. 10. ДН 4-элементной СШП решетки при различных задержках в излучателях

В пятой главе рассматриваются вопросы практического использования основных теоретических результатов проведенных исследований.

На основании введенных моделей тракта и показателей антенн рассмотрен вопрос о выборе оптимального частотного диапазона для СШП радиолокационных средств, используемых в качестве аппаратуры определения

промаха в мишенных комплексах и даны рекомендации по ее созданию. Выбор оптимального диапазона при видеоимпульсном возбуждении антенны означает совместный выбор длительности сигнала и геометрических размеров антенны. Необходимость выбора определяется тем, что при проектировании необходимо учитывать частотные свойства ЭПР конкретных целей и используемых антенн.

Рассмотрены особенности антенн в составе АОП для беспилотных мишенных комплексов и сделаны предложения по построению систем АОП для использования на типовых воздушных мишенях, а также буксируемых субмишенях.

Рассмотрен вариант построения антенной системы АОП в виде малоэлементной некогерентной антенной решетки. Предложено аппаратное решение такой системы<sup>1</sup>.

В заключении приводятся общие выводы по результатам диссертационного исследования.

В приложении приведены результаты расчетов характеристик направленности СШП антенн с учетом влияния предложенной модели тракта и акты об использовании результатов диссертации.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

Совокупность результатов выполненной работы можно квалифицировать как решение актуальной задачи анализа СШП радиолокаторов, повышения энергетической эффективности их работы. Основные выводы по работе можно сформулировать в виде следующих положений:

1. Разработана и проанализирована оригинальная модель СШП радиолинии в общем виде и ее частный случай - модель СШП РЛС с пассивным ответом, в которой возбуждение излучающей антенны осуществляется наносекундными видеоимпульсами;
2. Представлены показатели, адекватно отражающие функции антенн в составе СШП средств ближней радиолокации. Введенные показатели позволяют выявить ряд характерных особенностей, которые должны учитываться при анализе и конструировании антенн, а также дает полный инструментарий для повышения эффективности работы СШП РЛС. Показано, что показатели является общим случаем традиционного параметра КУ антенны;
3. Показано, что энергетические показатели для набора типовых антенн заметно различаются. Как и следовало ожидать, введенные показатели

---

<sup>1</sup> Положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2011149212 от 26.01.2012г. Радиолокатор ближней радиолокации / Седельников Ю. Е., Овчаров А.П.

корректно отражают преимущество широкополосных антенн со стабильной диаграммой направленности перед узкополосными через более высокие уровни коэффициенты усиления  $KU_{\text{сшп}}(\theta, \varphi)$ ;

4. Представлена методика синтеза СШП антенных решеток и вариант оптимизации параметров АР при помощи метода «конструктивного синтеза». Приведена и проанализирована модель СШП антенной решетки, проведена оптимизация малоэлементных антенных решеток, установленных на БЛА для получения квазиизотропной ДН;

5. Выработаны рекомендации по построению антенных устройств в составе беспилотных мишенных комплексов, касающихся выбора средней частоты, расположения элементов решетки и построения распределительного устройства. Предложен вариант реализации радиолокатора ближней радиолокации с расширенным углом обзора с использованием некогерентного возбуждения элементов решетки.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях:**

1. Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Характеристики направленности антенн сверхширокополосных радиосредств // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. -2011. -№2, -Казань.

2. Булатов М.М., Овчаров А.П., Седельников Ю.Е.. Характеристики направленности антенн сверхширокополосных радиосредств // Вестник МарГТУ. -2011. -№1. -Йошкар-Ола.

### **Публикации в прочих научных изданиях:**

3. Агапова Е.В., Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Обнаружение мало-размерных объектов сверхширокополосными радарми // ЗАО «Новое знание», Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. -2008. - Вып.1.

### **Доклады и тезисы в сборниках статей и материалов конференций:**

4. Агапова Е.В., Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Оптимизация требований к частотному диапазону средств ближней радиолокации малоразмерных объектов // Труды XV научно-технической конференции Туполевские чтения. Казань, 2007.

5. Агапова Е.В., Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Определение оптимальных условий при радиолокации малоразмерных объектов // Труды VI международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». Казань, 2007.

6. Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Характеристики направленности антенн для систем сверхширокополосной радиолокации // IX Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТТТ. Казань, 2008.

7. Булатов М.М., Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Характеристики направленности антенн для систем сверхширокополосной радиолокации // Труды IX международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». Миасс, 2010.

8. Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Характеристики направленности антенн для систем сверхширокополосной радиолокации // Труды XV научно-технической конференции Туполевские чтения. Казань, 2010.

9. Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Антенны СШП средств ближней радиолокации // Труды XVII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» RNLC-2011. Воронеж, 2011.

10. Овчаров А.П., Седельников Ю.Е. Характеристики направленности антенн и антенных решеток сверхширокополосных радиосредств // Труды XII международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТИТТ. Казань, 2011.

---

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ.л.1,0. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 100. Заказ А38.

---

Типография КНИТУ-КАИ. 420111, Казань, К. Маркса, 10



10.2